



TITLE:

UPt₃におけるdベクトルの回転の研究(スピン三重項超伝導をめぐって)

AUTHOR(S):

町田, 一成

CITATION:

町田, 一成. UPt₃におけるdベクトルの回転の研究(スピン三重項超伝導をめぐって). 物性研究 1997, 68(6): 770-771

ISSUE DATE:

1997-09-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/96145>

RIGHT:

UPt₃における d ベクトルの回転の研究

岡山大学理学部 町田一成

これまで重い電子系や Cu や Ru を含む酸化物に於いて超伝導の特異な性質が種々報告されてきたが、その中でも UP₃は際立った特異性を示す [1]。中性フェルミ系の³Heの超流動に加えて、UP₃は荷電フェルミ系で三重項超伝導を示す初めての例である。多重相図を矛盾なく説明しようとする理論的試み [2, 3, 4] と様々な実験、とりわけ最近の阪大の NMR による幾つかの磁場方位下での Knight Shift 実験 [5] や北大の磁化測定 [6] により UPt₃がスピン三重項状態であるということのみならず、それを特徴づける d ベクトルの方位も確定することができた [4]。ここでは最近の Knight Shift 実験によって明らかにされた d ベクトルの回転現象について理論的に考察する。

実験事実は次のとおりである。(1) $H \parallel c$ の配置で磁場が $H_{rot} \sim 2kG$ 辺りを境にして、低磁場での帯磁率が減少する状態から変化しない状態へ系 h は相変化を起こす。(2) これは B 相内でおこっていて BC 転移 ($H \sim 12kG$) とは別の相変化である。この実験は B 相を記述する d ベクトルが印加した磁場によってそのピンが結晶格子からはずれて、 $H \perp d$ となったと解釈できる。本研究においては従来相図を導くのに用いてきた [4] GL 自由エネルギー

$$F = \alpha_0(T - T_{c0})|\vec{\eta}|^2 + \frac{1}{2}\beta_1(\vec{\eta} \cdot \vec{\eta}^*)^2 + \frac{1}{2}\beta_2|\vec{\eta}|^2 - \delta\gamma|\hat{x} \cdot \vec{\eta}|^2 - \lambda|\hat{z} \cdot \vec{\eta}|^2$$

を用いて、上に述べた d ベクトル回転現象を解析した。ここで $\delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 (> 0)$ は反強磁性ゆらぎの異方性に由来する効果を表す。 $\vec{\eta} (\eta_x, \eta_y, \eta_z)$ 。最後の項 $\lambda|\hat{z} \cdot \vec{\eta}|^2$ はスピン空間におけるオーダーパラメーターの弱い異方性を表す。Knight Shift が c 軸に磁場をかけたとき $H \sim 2kG$ 以下で変化するという上の実験事実 [5] を踏まえたものである。この自由エネルギーは、次のように書き直すことができる

$$F = \sum_{j=x,y,z} \alpha_0(T - T_c^j)|\eta_j|^2 + \frac{1}{2}\beta_1(\vec{\eta} \cdot \vec{\eta}^*)^2 + \frac{1}{2}\beta_2|\vec{\eta}|^2$$

ここで $\delta\gamma > \lambda > 0$ に対しては、 $T_c^x = T_{c0} + \frac{\delta\gamma}{\alpha_0} > T_c^z = T_{c0} + \frac{\lambda}{\alpha_0} > T_c^y$ である。上部臨界温度 $T_{c1} = 0.5K$ 即ち $T = T_c^x$ では $\eta_x \neq 0, \eta_y = 0$ と $\eta_z = 0$ で特徴づけられる A 相がまず現れる。次に下部臨界温度 $T_{c2} = 0.45K$ 即ち $T = T_c^z$ で、B 相が出現する。この相はノンユニタリーなオーダーパラメーター $\eta_x \hat{x} + i\eta_z \hat{z}$ で記述される。上の自由エネルギーからは第三の転移は決して起きないことが証明できる。

三成分 η_x, η_y, η_z をもつ渦糸格子構造を H を変化させながら上の自由エネルギーの極小解として決定した。その結果、次のことが分かった

(1) $H = 0$ の B 相はオーダーパラメーターが $\eta_x \hat{x} + i\eta_z \hat{z}$ で特徴づけられるが、渦糸状態では $\eta_x \hat{x} + i\eta_y \hat{y}$ へ変わる磁場 H_{rot} が存在する。

(2) $H \ll H_{rot}$ では、 η_x と η_z で構成される渦糸に η_y が渦糸芯まわりに誘起される。

(3) $H < H_{rot}$ になると η_y が成長し、同時に η_z は抑えられる。

(4) $H \sim H_{rot}$ では η_z は連続的に小さくなり、高磁場側に裾をひく。

(5) $H > H_{rot}$ になると η_x と η_y で構成された渦糸になる。

(6) さらに高磁場では η_x が消失する。これが BC 転移である。その際、 η_z は高磁場側へ裾をひくことはない。

(7) 最後に残っていた η_y も消失する。これが上部臨界磁場 H_{c2} である。

定性的には以上のように実験事実を再現するが、幾つかの問題点も残る。

1. H のかなり低い磁場から η_y 成分は相当の寄与をする。これは、 $H < H_{rot}$ で Knight shift が変化するという事実と反する。

2. $H = H_{rot}$ と H_{BC} とで相転移の様子は似ていて、 $H = H_{rot}$ で二次転移的な相転移がおきてしまう。実験でそのような兆候はない。

3. 両者の転移の幅は今の計算では同じ位であるが、実験的には、 $H = H_{rot}$ で d ベクトルの回転は急速に起っている。

当研究は岡山大理 岩淵章、和歌山大教 藤田利光、京大理 大見哲巨の諸氏との共同研究である。

参考文献

- [1] これまでの $U\text{Pt}_3$ に関する仕事のレビューとして：町田一成、固体物理 **28**, 664 (1993). 藤秀樹、他、固体物理 **31**, 763 (1996).
- [2] J. Sauls, J. Low Tem. Phys. **95**, 153 (1994). J. A. Sauls, Adv. Phys. **43**, 113 (1994).
- [3] K. A. Park and R. Joynt, Phys. Rev. Lett. **74**, 4734 (1995).
- [4] K. Machida and M. Ozaki, Phys. Rev. Lett. **66**, 3293 (1991). T. Ohmi and K. Machida, *ibid.* **71**, 625 (1993). K. Machida, *et al.*, J. Phys. Soc. **62**, 3216 (1993). K. Machida and T. Ohmi, J. Phys. Soc. **65**, 3456 (1996). T. Ohmi and K. Machida, J. Phys. Soc. **65**, 4018 (1996).
- [5] H. Tou *et al*, Phys. Rev. Lett., **77**, 1374 (1996) and private communication.
- [6] K. Tenya *et al*, Phys. Rev. Lett., **77**, 3139 (1996).